設施栽培之合理化施肥技術

陳鴻堂

行政院農業委員會臺中區農業改良場

摘　要

設施栽培之土壤鹽分大部分都累積在表土 0～5 公分土層，其土壤電導度 EC 值大於 1.5 dS m^{-1} 者佔 53%，分析與肥料有關的鹽類如 Ca^{2+}、Mg^{2+}、K^{+}、Na^{+}、Cl^{-}、NO_3^{-}、$H_2PO_4^{-}$及 SO_4^{2-}等(養分)離子，台灣中部四大土類均以 SO_4^{2-}及 NO_3^{-}濃度最高，顯示設施內土壤鹽分累積與農民施肥有顯著的相關。設施內栽培作物若施肥不當則在栽培一年以上時，其土壤電導度值就達 0.97 dS m^{-1}（土：水 1：5），直接影響不耐鹽作物發芽及生長。解決設施內土壤鹽分累積的對策中，採用去除鹽分累積土層或浸水 20 天時，分別可以降低土壤電導度 82.2 及 64.9～78.6%，維持作物正常生長。設施栽培之作物每期作每公頃施有機質肥料 1-2 公噸時，氮素施用量降低 50-75% ，亦可維持設施蔬菜正常產量，避免土壤累積肥料鹽分可維護土壤之永續生產力。

前　言

設施栽培就是應用各種現代化科技資材，改變或控制農作物生產環境，進行作物保護栽培，達成作物產期調節，品質提高、增加產量或減少病蟲害等目的，所進行的作物保護栽培方法。由於改變作物的栽培環境，必須投入必要設施資材，因此與傳統栽培比較結果，相對的須花費較高的設施成本，所以已經投入及架構完成的栽培設施，除非已嚴重損壞或土壤產生連作障礙，該設施之變動的機會很小，因此栽培設施環境經營管理良好時是可長期永續利用的。設施栽培可分為土耕設施與無土栽培設施兩大類，土耕設施作物與一般傳統栽培作物均須以土壤為生長的基質，因此在長期栽培作物的情況下，必須實施正確之土壤管理及合理化之施肥技術，以避免土壤劣化及連作障礙影響作物生長。

設施土壤與肥料關係

（一）設施土壤累積肥料鹽分概況

通常作物的施肥除了考慮該作物的養分需求量外，還必須注意栽培土壤的養分供應特性，以減少施肥過量造成浪費及肥料鹽累積，污染土壤與地下水源，尤其採用阻絕雨水進入來保護作物之塑膠布栽培設施內，因所施的肥料無法被雨水淋洗，造成土壤累積肥料鹽分，使植物的根吸收水分受阻。農業上土壤累積鹽分是因氣候和灌溉條件所形成。一般都發生在乾旱或半乾旱地區，因該地區水分蒸發量高，而雨量又少，不足以將植物根系土層的鹽分淋洗，而形成鹽土，佔地球表面耕地面積25%(張新軒，1979)。台灣雖然是處於濕潤區，但亦有約 3 萬公頃之鹽分地，佔台灣耕地面積之 3.3%(王明果，1978)，分布在台灣西部沿海，北自彰化，南至台南一帶。土壤鹽分來源大多數由於早期海水浸漬，海水倒灌，鹽霧，含鹽分高的地下水及雨量分布不均勻所致。台灣鹽分地土壤鹽分以氯化鈉為主（王百祿等，1989），在脫鹽(Desalination)過程中鹽類離子比例的變化決定於土壤特性，透水性較好的粘板岩沖積土含鈉(Na^{+})、硫酸根(SO_4^{2-})及氯(Cl^{-})離子較多，透水性較差的砂頁岩沖積土含鈉(Na^{+})及氯(Cl^{-})離子較多。這些離子累積在土壤造成土壤滲透壓升高，作物種子及根無法吸收水分，限制土壤的利用。測定土壤鹽分的方法通常是以測定風乾土之土壤飽和抽出液電導度來表示土壤鹽分濃度(Rhoades,1982)，並以測定土壤溶液電阻(ohm)的倒數來表示土壤電導度，即在每一公分的 mhos 或 S (Siemen)。土壤溶液的抽出除了以風乾土之土壤飽和水抽出外，尚有用土：水比 1：1、1：2 及 1：5 (w：v)等方法抽出，其不同水土比抽出液的測值與飽和抽出法的關係如表一所示(陳鴻堂，1992)。以土水比 1：5 抽出液所測得之土壤電導度值換算飽和土壤水抽出液之電導度時，粘板岩需乘以 5.64，砂頁岩非石灰性沖積土需乘以 5.99，砂頁岩與粘板岩混合沖積土需乘以 5.65，而紅壤則需乘以 7.11，若不考慮土類時則需乘以 6.11。此與日本位田(1981)估計乘以 6.0，關東溫室土壤研究所(1966)乘以 6.76 及 Sandon(1984)乘以 6.4之報告結果相似。一般而言含有較多的水溶性離子(鹽分)時，其土壤電

導度就越大，反之則較小。土壤在接受肥料後因未被作物吸收及未被淋洗流失的部份有許多是以水溶性狀態累積在土壤，因此測定土壤電導度可以大略判斷土壤累積之肥料鹽分的量。據筆者調查本省中部四大土類設施內土壤電導度的頻度如表二所示。日本學者三好氏(1978)指出，土水比為 1：5 之土壤電導度在 0.8～1.5 dS m^{-1} 時，對多數作物生長有不良的影響，本省中部設施內表土 0～5 cm 之土壤電導度高於低值 0.8 dS m^{-1} 者，佔全調查數之 73%，且有一半以上大於高限 1.5 dS m^{-1}，而設施外栽培表土 0～5cm 之土壤電導度高於低值 0.8 dS m^{-1} 者僅有 22%(表二)。另根據 Ende(1989)測定 75 荷蘭溫室內土水比 1：5(w：v)的土壤電導度平均為 0.93 dS m^{-1}，而台灣中部 30 個設施內 0～5 cm 深土壤之電導度平均為 2.01 dS m^{-1}，顯然本省中部設施內土壤較荷蘭高出一倍，值得注意。因此可知本省中部設施內土壤多有鹽分累積情形，且有 50%以上屬嚴重情況(EC 大於 1.5 dS m^{-1} 者)，故值得設施栽培業者及農政單位注意。表二亦顯示表土層中土壤鹽分多累積於 0～5 cm 深度，因 5cm 深土層只見少數調查點之 EC 值介於 0.8～1.5 dS m^{-1}，而土壤深度至 10 cm 以下則已無大於 0.8 dS m^{-1} 者，顯示此深度以下土壤已無鹽分累積。本省栽培設施內土壤鹽分累積情況嚴重，分析其原因除與農友在栽培上之過量施肥有關外，另一方面是設施內溫度通常較設施外高，文獻曾經報導設施內外溫度相差 9℃，使設施內土壤水分蒸發較露天者多，及設施內灌溉方式改變使土壤累積之鹽分不會被灌溉淋洗，加上設施內亦缺乏自然降雨淋洗，因此設施內形成類似乾旱或半乾旱地區之土壤環境，而使設施內較易造成土壤鹽分累積。

表 1 不同水土比與飽和抽出法土壤電導度值及其倍數關係(陳鴻堂,1992)

樣品	EC(1:5)	EC(1:2)	EC(1:1)	ECe	ECe / EC(1:5)	ECe /EC(1:2)	ECe /EC(1:1)
	──	dS m^{-1}	──				
				粘板岩石灰性沖積土			
L1	1.40	2.90	4.70	7.10	5.07	2.45	1.51
L2	3.90	7.70	12.70	20.90	5.36	2.71	1.65
L3	5.42	10.50	17.60	28.80	5.31	2.74	1.64
L4	6.70	13.30	22.30	42.10	6.28	3.17	1.89
L5	7.00	16.10	29.50	41.70	5.96	2.59	1.41
L6	8.40	16.70	28.10	49.10	5.85	2.94	1.75
平均					5.64±0.46	2.77±0.26	1.64±0.17
				砂頁岩非石灰性沖積土			
S1	1.50	3.30	3.60	12.10	8.07	3.67	2.02
S2	1.00	2.00	3.70	5.80	5.80	2.90	1.57
S3	0.31	0.47	1.30	1.79	5.77	2.52	1.38
S4	1.12	2.41	4.30	6.52	5.82	2.71	1.52
S5	1.02	2.00	3.83	4.58	4.49	2.29	1.20
平均					5.99±1.29	2.82±0.37	1.44±0.21
				砂頁岩與粘板岩混合沖積土			
M1	0.61	1.39	2.72	3.51	5.75	2.53	1.29
M2	2.30	4.50	8.20	13.80	6.00	3.07	1.68
M3	0.83	1.82	3.18	4.32	5.20	2.37	1.36
平均					5.65±0.40	2.66±0.37	1.44±0.21
				紅 壤			
R1	0.16	0.33	0.58	0.81	5.06	2.45	1.40
R2	0.57	1.27	2.39	4.73	8.30	3.72	1.98
R3	2.10	4.70	8.60	20.50	9.76	4.36	2.38
平均					7.71±2.41	3.51±0.97	1.92±0.49
總平均					6.11±1.35	2.89±0.56	1.63±0.31

ECe：飽和土壤水抽出液電導度。

EC(1:5)、EC(1:2)、EC(1:1)分別為土：水=(1:5、1:2、1:1，w:v)土壤水抽出液電導度。

表 2 土壤中不同深度土層各級電導度值之頻度

土壤深度 (cm)	電導度值之頻度		
	<0.8 dS m^{-1}	0.8-1.5 dS m^{-1}	>1.5 dS m^{-1}
設施內栽培			
0～5	8(27)	6(20)	16(53)
5～10	27(90)	3(10)	0(0)
10～15	30(100)	0(0)	0(0)
15～20	30(100)	0(0)	0(0)
20～25	30(100)	0(0)	0(0)
25～30	30(100)	0(0)	0(0)
30～35	30(100)	0(0)	0(0)
35～40	30(100)	0(0)	0(0)
40～45	30(100)	0(0)	0(0)
45～50	30(100)	0(0)	0(0)
50～55	30(100)	0(0)	0(0)
55～60	30(100)	0(0)	0(0)
設施外栽培			
0～5	14(77)	1(6)	3(17)
5～10	18(100)	0(0)	0(0)
10～15	18(100)	0(0)	0(0)
15～20	18(100)	0(0)	0(0)
20～25	18(100)	0(0)	0(0)
25～30	18(100)	0(0)	0(0)
30～35	18(100)	0(0)	0(0)
35～40	18(100)	0(0)	0(0)
40～45	18(100)	0(0)	0(0)
45～50	18(100)	0(0)	0(0)
50～55	18(100)	0(0)	0(0)
55～60	18(100)	0(0)	0(0)

（二）施肥量與土壤電導度的關係

施肥是提高作物產量與品質的必要措施，調查設施內施肥量與土壤電導度的關係結果顯示，每年每公頃氮素施用 100 公斤，約可增加土壤電導度(1：5)0.37 dS m^{-1}，施用鉀肥 100 公斤約增加 0.52 dS m^{-1}，其施用量與土壤電導度值之相關係數分別為 0.90 及 0.89，呈顯著的正相關，其中鉀肥對土壤電導度的影響又大於氮肥(圖 1、2)。是故設施內蔬菜園施用的化學氮及鉀，可能有許多未被作物吸收而殘留累積在土壤，造成土壤累積水溶性離子，升高土壤電導度。

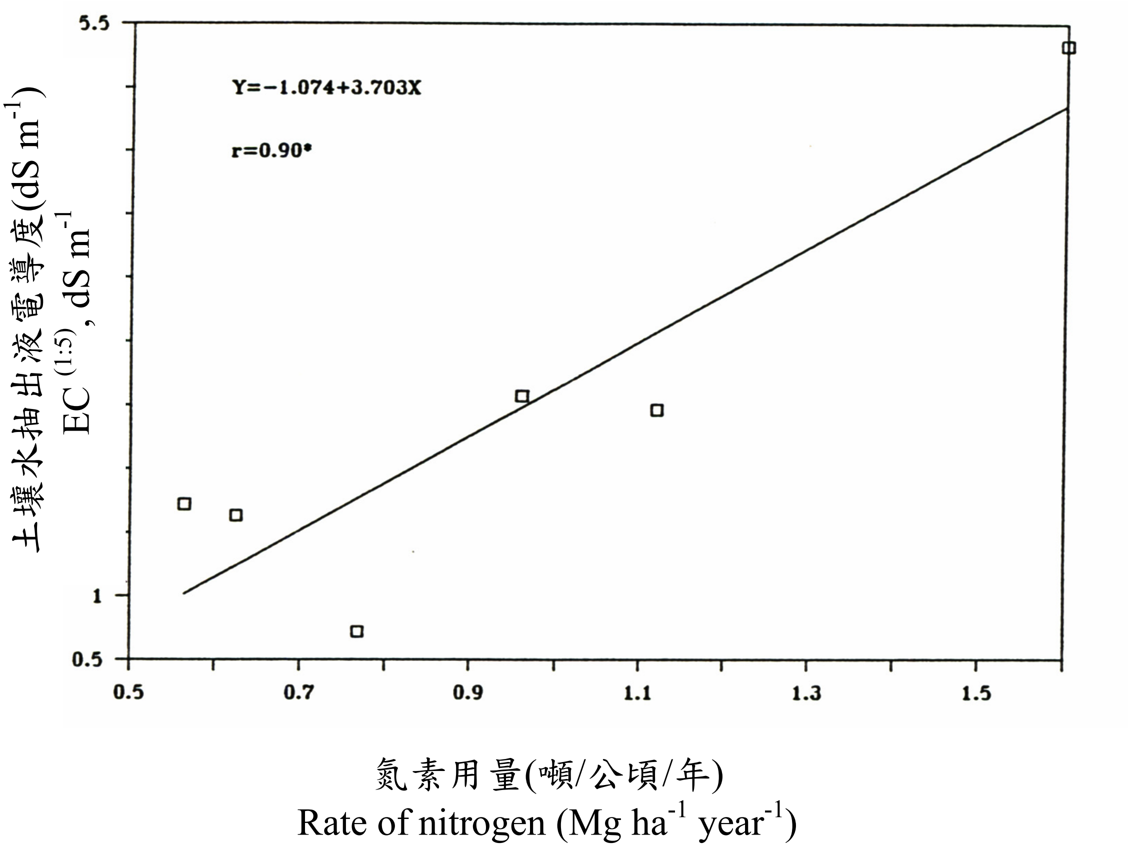
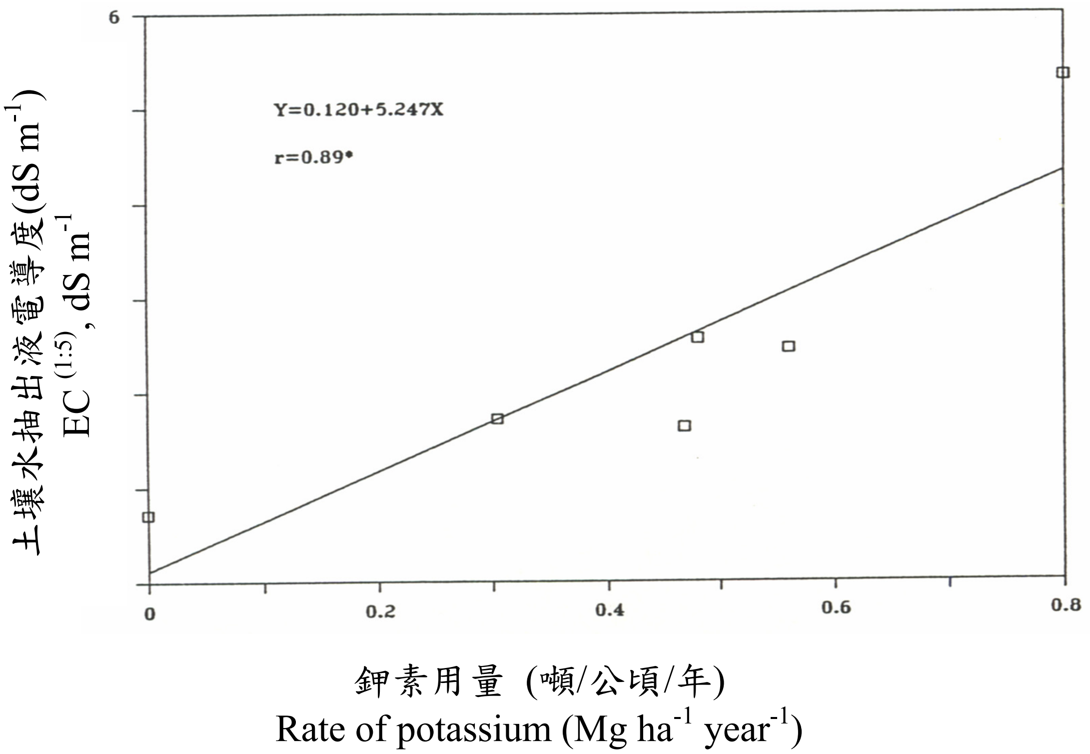


圖 1 設施內化學氮肥(**N**)施用量與土壤電導度的關係



圖二、設施內化學鉀肥(**K_2O**)施用量與土壤電導度的關係

（三）土壤中累積肥料鹽的種類

土壤電導度值是估算土壤鹽分累積的綜合值，由於土壤溶液之化學成分對作物生長有很重要的影響，故本試驗分析構成土壤溶液之一般離子(位田，1981；Ende,1989)。土壤溶液中水溶性離子濃度顯示(表三)在粘板岩石灰性沖積土,其測定之水溶性離子濃度順序為 SO_4^{2-}＞NO_3^-＞Ca^{2+}＞ Cl^-＞ Mg^{2+}＞K^+＞Na^+＞NO_2^-＞$H_2PO_4^-$，而砂頁岩非石灰性沖積土為 SO_4^{2-}＞NO_3^-＞Ca^{2+}＞Na^+＞Cl^-＞K^+＞Mg^{2+}＞$H_2PO_4^-$＞ NO_2^-，砂頁岩與粘板岩混合沖積土者為 NO_3^-＞SO_4^{2-}＞Na^+＞Ca^{2+}＞Cl^-＞K^+＞Mg^{2+}＞$H_2PO_4^-$＞NO_2^-，紅壤為 Ca^{2+}＞NO_3^-＞SO_4^{2-}＞Cl^-＞Mg^{2+}＞Na^+＞K^+＞$H_2PO_4^-$＞NO_2^-此結果顯示，水溶性離子濃度順序隨土類不同而異，但皆以 SO_4^{2-}或 NO_3^-之濃度較高。而以 $H_2PO_4^-$、NO_2^-最低，此結果與 Ende(1989)及日本關東溫室土壤研究所(1966)之報告結果類似。另以調查之 30 個設施內表土 0～5 cm 深之土水比為 1：5 之土壤電導度與 SO_4^{2-}及 NO_3^-做迴歸，發現兩者相關極顯著(圖三、四)。

表 3 土壤抽出液離子濃度(土：水 1：5 w：v)

土　類	離子濃度(coml kg-1)									Total
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	Cl^{-}	NO_2^{-}	NO_3^{-}	$H_2PO_4^{2-}$	SO_4^{2-}	
黏板岩石灰性沖積土	5.38	2.36	2.16	2.11	4.82	ND※	7.32	ND	7.55	31.7
砂頁岩非石灰性沖積土	1.80	0.442	0.69	1.10	0.924	0.006	2.64	0.064	3.28	10.9
砂頁岩與黏板岩混合沖積土	1.26	0.540	0.613	1.46	1.06	ND	2.33	0.037	1.86	9.16
紅　壤	1.94	0.667	0.430	0.650	0.738	ND	1.86	0.005	1.64	7.93

※ND：檢測不到

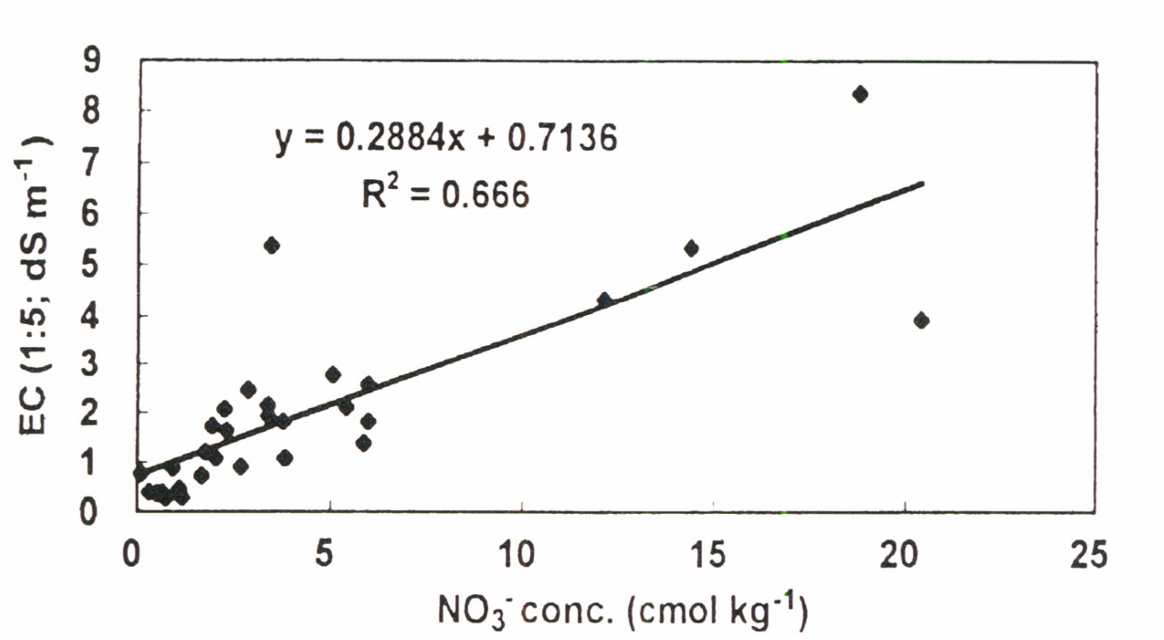
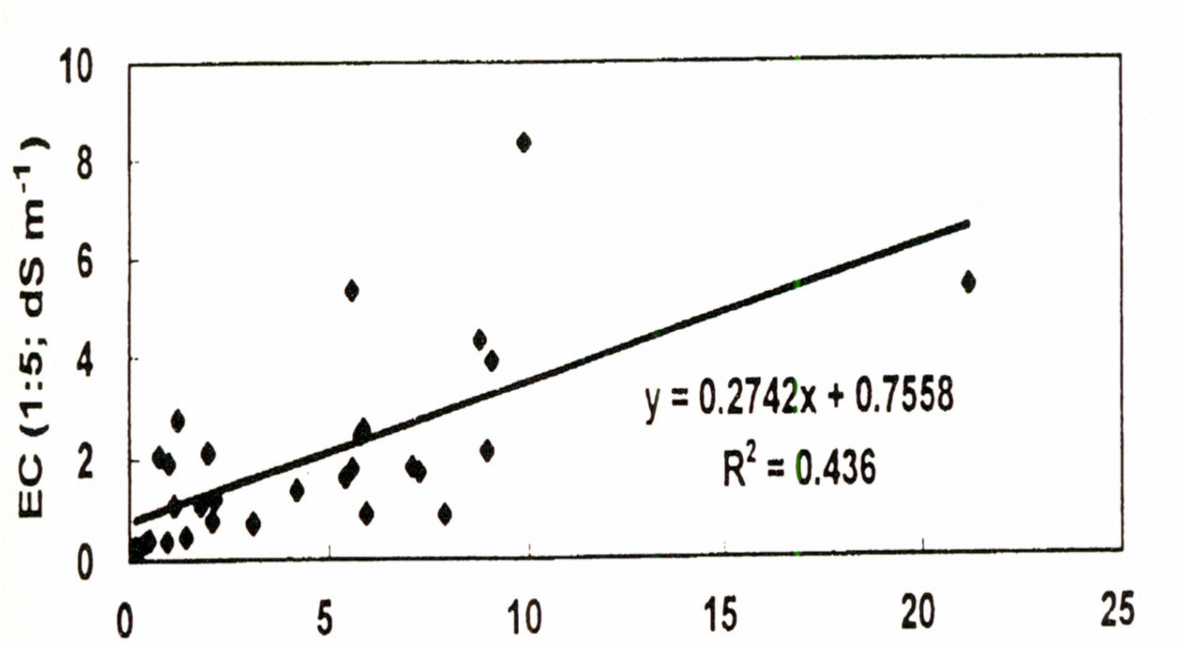


圖 3 設施土壤 EC 值與抽出液中 NO_3^-濃度之直線迴歸



SO_4^{-2} conc.(cmol kg^{-1})

圖 4 設施土壤 EC 值與抽出液中 **SO_4^{2-}**濃度之直線迴歸

（四）設施使用年數與設施內土壤鹽分累積的關係

設施使用年數愈久，其施入土壤之肥料量愈多，故設施栽培年數對土壤鹽分累積之影響是值得重視之問題。圖五顯示 30 個栽培設施內 0～5 cm 深土壤，發現栽培者利用設施栽培作物達一年以上者，設施內土壤之電導度即達 0.97 dS m^{-1}，設施栽培達二年以上者，設施內土壤之電導度即超過 1.5 dS m^{-1}，換言之設施栽培經營二年後，即有鹽分嚴重累積情事，尤其經營三年以上者，其土壤 0～5 cm 之 EC 值平均達 2.6 dS m^{-1} 以上,對作物有負面影響(三好洋，1978；湯村義男，1976)，以常見之白菜、萵苣為例，其土壤飽和液之 EC 在 7 dS m^{-1} 以上(即 1：5 土水比土壤抽出液約為 1.2 dS m^{-1})即減產 50%以上(嚴式清，1991)，故此間業者在經營設施栽培幾年後，因栽植不易而廢耕之現象，應與土壤鹽分嚴重累積有關。

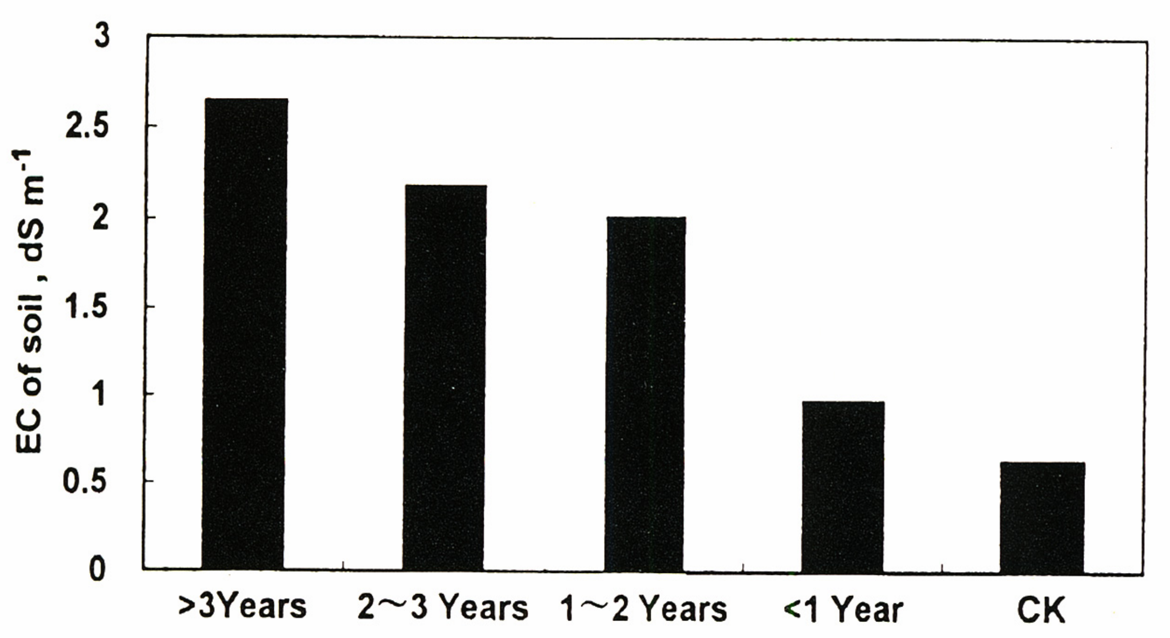


圖 5 設施栽培年數與土壤 EC 值

設施土壤肥料鹽累積之解決對策

（一）設施內土壤鹽分累積改良方法的擬定

最早係採用一般鹽分地的改良方法，就是採用淋洗的方法。石川(1985)指出設施土壤 EC 值(1：5)為 1.673 dS m^{-1}，經相當於 1.1m 雨量的浸水處理後,土壤電導度降低為 0.183 dS m^{-1}。中島(1984)比較浸水 61 天與種植馬齒種玉米及水稻等吸肥力強之作物後，設施土壤電導度值，發現浸水後表土 0～17 公分土層電導度降至 0.07 dS m^{-1}，而對照區 0～15 公分 EC 值，則仍高至 1.55 dS m^{-1}。郭孚耀(1989)在設施甜椒連作田進行浸水 7～10 天的結果，土壤 EC 值降低 60%。另外，三好(1978)指出鹽類濃度高的胡瓜栽培溫室，全面深耕 30 公分深，可以使 0～10 公分表土層的土壤電導度下降為 1.0 dS m^{-1}，比未深耕的電導度 2.5 dS m^{-1}，降低了 1.5 dS m^{-1}，並提高胡瓜產量 13%，若前述之一般深耕法再配合以寬 40 公分，深 50 公分的行狀深耕後，在深耕行上定植胡瓜，其表土 0～10 公分土壤 EC 值，更可降低為 0.5 dS m^{-1}，且胡瓜可增產 19%嶋田(1979)指出將鹽分累積的表土與鹽分含量正常的底土互換的深耕法，對鹽分在土壤的含量有稀釋作用，並且可以使灌溉水容易入滲下層，若適

當的增加灌水量也可以將累積鹽分溶在灌溉水中，而隨水分往下滲透以去除鹽分。

Shannon(1984)指出種植萵苣可以在播種後噴灌 48 小時，來防止土壤乾燥及鹽分累積。嶋田(1979)指出去除鹽分過量累積，亦可在設施休閒期，栽培青刈用之禾本科作物，如玉米，則可去除約 46%的鹽分，雖然此效果不如浸水法(除鹽效果 85%)好，但也是一種可行的除鹽方法。在施用高 C/N 的有機物質於鹽分累積的土壤中，如施稻草(C/N=64.4)之殘體後所偵測到的土壤水溶性 NO_3^-—N 含量可降低，並維持 60ppm 之濃度約 6 個月。嶋田(1979)指出要根本改良設施內鹽類累積土壤的最有效方法乃是把累積鹽分的土壤搬出設施外，另外客以沒有鹽分累積的土壤。為了探究本省中部蔬菜設施內鹽分累積之經濟有效的改良方法，陳鴻堂(1992)在彰化縣永靖鄉二林(Eh)土系前作為空心菜已有鹽分累積之設施土壤進行兩個改良方法試驗：(一)深耕至表土以下 50 公分＋牛糞 3 公噸/公頃(代號 1)、客以稻田土壤 5 公分＋牛糞 3 公噸/公頃(代號 2)、去除鹽分累積土壤 5 公分＋牛糞 3 公噸(代號 3)、施牛糞 20 公噸/公頃(代號 4)及施牛糞 3 公噸/公頃(代號 5)；(二)浸水 20 天後施牛糞 3 噸及僅施牛糞 3 噸，並種植葉萵苣和小白菜。評估不同土壤改良方法對土壤及蔬菜生長效果，以提供設施內土壤管理參考。

（二）數種鹽害改良方式對設施蔬菜產量及發芽率的影響

改良處理對葉萵苣產量的影響，在田間設施栽培條件下，由於葉萵苣對鹽分的忍受度屬於中忍受級，因此五種改良方法，其改良效果隨土壤電導度 EC 值下降而提高蔬菜產量，順序為(去除鹽分累積土壤 5 公分＋牛糞 3 噸/公頃)＞(深耕至表土以下 50 公分＋牛糞 3 噸/公頃)＞(施牛糞 3 噸/公頃)＞(客以稻田土壤 5 公分＋牛糞 3 噸/公頃)＞(施牛糞 20 噸/公頃)。去除表土鹽分累積改良區，葉萵苣產量為 18,006 公斤/公頃，比只施牛糞 3 噸/公頃的對照區產量 441 公斤/公頃，增產 39.8 倍(表四)，試驗中的其他改良方法因土壤電導度無法降低，使得發芽率只有 0.01～31.5%。造成田間葉萵苣有很多的缺株直接影響產量。

一般設施栽培的萵苣平均有 19,000～27,000 公斤/公頃的產量(廖芳

心等，1988)。鹽分累積土壤影響葉萵苣的產量主要因子是鹽分濃度。Richard(1954)指出，萵苣對鹽分的耐性為中等。嚴式清(1991)指出飽和土壤抽出液(ECe)值 2、3 及 5 dS m^{-1} 時，分別對萵苣會減產 10、25 及 50%。顯示土壤電導度是影響蔬菜發芽率與產量的主要限制因子。浸水去除鹽分累積改良區，葉萵苣及小白菜產量分別有 17,143 及 26,603 公斤/公頃比對照區 2,202 及 4,210 公斤增產 6.7 倍及 5.3 倍(表五)。

表 4 土壤改良方法對葉萵苣產量及發芽率的影響

處　　理	產量(公斤 公頃$^{-1}$)	發芽率(%)
深耕至表土以下 50 公分+牛糞 3 噸 公頃$^{-1}$	2,427	22.3
客以稻田土壤 5 公分+牛糞 3 噸 公頃$^{-1}$	566	10.5
去除鹽分累積土壤 5 公分+牛糞 3 噸 公頃$^{-1}$	18,006	44.8
施牛糞 20 噸 公頃$^{-1}$	131	0.04
施牛糞 3 噸 公頃$^{-1}$	441	0.54

表 5 浸水 20 天後種植蔬菜後土壤電導度、蔬菜產量及發芽率

採樣時期	EC$^{(1:5)}$ dS m^{-1}		產量(kg ha^{-1})		發芽率(%)	
	浸水 20 天	對照	浸水 20 天	對照	浸水 20 天	對照
浸水前	5.33					
葉萵苣收穫時	1.14	7.72	17,143	2,202	74.1	1.6
小白菜收穫時	1.87	6.02	26,603	4,210	88.5	0.9

（三）設施鹽害土壤改良後對土壤電導度的影響

土壤電導度愈大表示含鹽分越高，當土壤溶液中鹽分濃度為到某一水準時就會影響植物的生長(Richard,1954)。設施栽培的鹽分累積是因人為控制環境及肥培管理不當引起，土壤鹽分經改良後並種植一作的葉萵苣，經測定 0～5 公分表土 EC 值，結果顯示去除表土鹽分累積及浸水處理的 EC 值(1︰5)可降為 0.948 dS m^{-1} 及 1.14～1.87 dS m^{-1}，深耕與客土間的改良效果差異不大，其電導度分別為 5.98 及 5.83 dS m^{-1}。不同有機肥料牛糞用量(3 及 20 噸/公頃)對電導分別為 7.02 與 9.13 dS m^{-1}，顯示不同改良方法對土壤電導度影響很大。據三好(1978)指出，溫室內土壤 EC 值(1︰5)對作物的影響臨界值是 0.8～1.5 dS m^{-1}，本試驗

結果發現，只有去除鹽分累積的表土 5 公分及浸水處理，才有降低鹽分濃度的效果，而深耕、客土、施大量有機肥料等方法，都無法顯著的降低設施土壤鹽分累積。三好(1978)對深耕改良設施土壤鹽分累積的效果指出，土壤 EC 值 2.5 dS m^{-1}之溫室土壤，採用深耕處理後可以降低土壤 EC 值至 0.5～1.0 dS m^{-1}，因而胡瓜產量增加 13～19%。他並指出在溫室鹽分濃度過高的土壤施用 C/N 比高(64.4)的有機物時，因有棧物質的分解過程中必需自土壤吸收氮素，因而降低土壤中 NO_3—N 的含量，並維持土壤含低 NO_3—N 達 6 個月。小田等(1986)指出鹽分累積土壤施 1%及 3%稻草，可以使土壤中的 NO_3—N 降低 220 mg kg^{-1} 及 360mg kg^{-1}。但本試驗所施的有機肥料牛糞，因 C/N 低(10.1)所以並沒有降低土壤電導度的效果。而浸水 20 天後栽培葉萵苣及小白菜分別可以降低土壤電導度至 1.14 及 1.87 dS m^{-1}，而施化學肥料及牛糞 3 噸之對照區，則較試驗前土壤電導度 5.33 dS m^{-1} 為高(表五)，顯示浸水可以降低土壤電導度 68.9～85.2%。

（四）設施鹽害土壤改良後土壤中水溶性鈣、鎂、鉀、鈉的變化

累積鹽分的設施栽培土壤經改良，並種植一作葉萵苣後測定土壤中水溶性陽離子鈣、鎂、鉀及鈉含量，與改良前土壤比較(圖六)。去除表土 0～5 公分鹽分累積土壤區之水溶性鈣、鎂、鉀及鈉含量分別為 1.377 coml kg^{-1}、0.343 coml kg^{-1}、0.217 coml kg^{-1}、0.461 coml kg^{-1}，較改良前含量 11.44 coml kg^{-1}、1.974 coml kg^{-1}、1.57. coml kg^{-1} 及 0.761 coml kg^{-1} 降低許多。降幅較大的為鈣、鎂、鉀有 88.0、82.6、86.2%的降幅，而鈉只有下降 39.4%。由於不同土壤鹽分改良方法中只將累積鹽分於 5 公分內的溫室表土去除及浸水洗去鹽分區之葉萵苣有正常生長效果。比較其他沒有改良效果的處理區，土壤中水溶性陽離子含量結果，鈣從降低 2.49×10^{-3} coml kg^{-1} 到升高 6.656 coml kg^{-1}，鎂則上升 1.616～3.605 coml kg^{-1}，鈉升高 0.661～2.322 coml kg^{-1}，鉀的變化亦是有升有降，據林滄澤(1991)探討稻草、田菁及牛糞處理，發現田菁及稻草礦化或水溶出之鉀濃度顯著高於牛糞，因此，土壤鹽分改良處理中，只有施用牛糞 3 噸/公頃及施牛糞 20 噸/公頃區有明顯增加土壤水溶性鉀 0.173 coml kg^{-1}

及 0.876 coml kg^{-1}，而深耕、客土、去除表土區都呈現降低的趨勢。

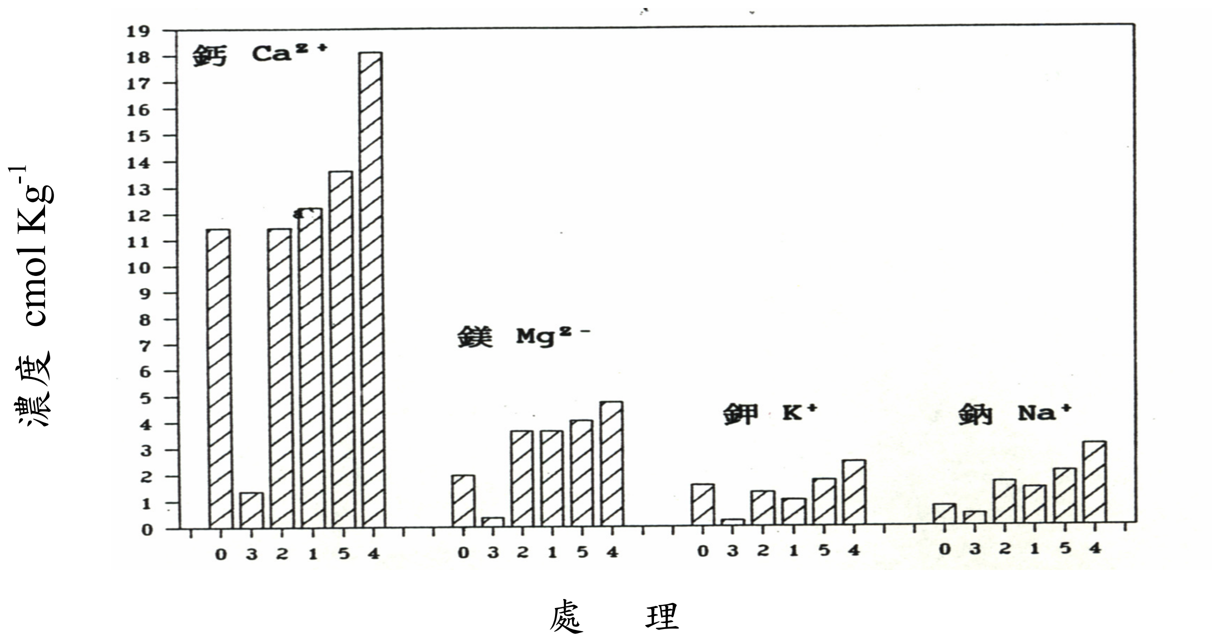


圖 6 設施栽培累積鹽分土壤改良後對土壤中水溶性鈣、鎂、鉀、鈉含量的影響

（五）設施鹽害土壤改良後對土壤中水溶性陰離子氯、硝酸根、硫酸根含量的影響

土壤鹽分累積改良並種植一作葉萵苣後，分析土壤中主要陰離子氯、硝酸根及硫酸根含量與改良前比較(圖七)。改良前氯、硝酸根及硫酸根含量分別為 1.931 coml kg^{-1}、14.39 coml kg^{-1} 及 5.569 coml kg^{-1}，改良並種植一作葉萵苣後，去除表土 5 公分區降為 0.391 coml kg^{-1}、0.624 coml kg^{-1} 及 0.919 coml kg^{-1}，降幅達 82.7、88.7 及 83.5%，對改良設施栽培累積鹽分的土壤效果較好。其他三種改良方法對降低土壤鹽分效果不彰，土壤氯離子分別升高 3.322 cmol kg^{-1}～6.610 cmol kg^{-1}、硝酸根濃度升高 4.284 coml kg^{-1}～16.14 coml kg^{-1}，但各種改良方法對土壤中硫酸根的含量則互有不同，在深耕及客土區分別降低 2.207，而施有機肥料 3 噸/公頃對照區及施有機肥料 20 噸/公頃區則升高 0.423 coml kg^{-1} 及 0.569 coml kg^{-1}。林滄澤(1991)指出牛糞施用量越多土壤水溶性硝酸氮、磷、硫、氯的濃度越高。比較施 20 噸/公頃牛糞與 3 噸/公頃牛糞對照區結果，施大量牛糞區使土壤水溶性氯離子、硝酸根濃度增加，但硫酸根則沒有影響。

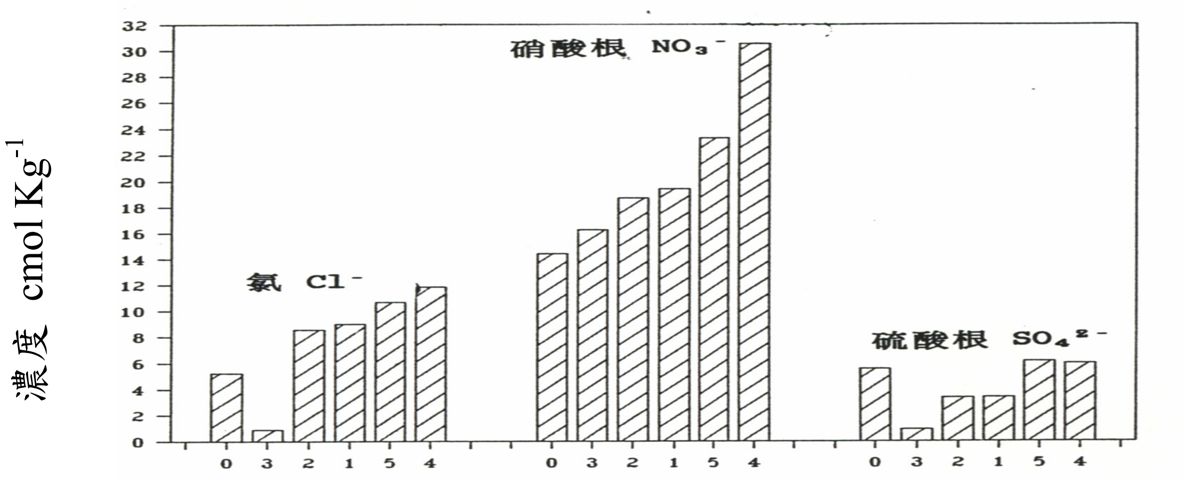


圖 7 設施栽培累積鹽分土壤改良對土壤水溶性氯、硝酸根、硫酸根含量的影響

0.鹽分累積土壤改良前

1.深耕至表土以下 50 公分+牛糞 3 噸/公頃

2.客以稻田土壤 5 公分+牛糞 3 噸/公頃

3.去除鹽分累積土壤 5 公分+牛糞 3 噸/公頃

4.施牛糞 20 噸/公頃

5.施牛糞 3 噸/公頃

設施栽培之合理化施肥

施肥是增加作物產量與提高品質之必要措施，設施內因作物生產環境已經改變，所以肥料之用量與施肥法必須適當調整，否則設施內之土壤劣化程度將大於露地栽培土讓，資料顯示：2003 年設施內每公頃施市售有機質肥料(N-P_2O_5-K_2O 4-4-4) 2,000 公斤，配合氮素肥料分別施 48、72、96 及 120 公斤四級處理，不會顯著影響葉萵苣(leaf lettuce, *lactuca sativa L.*)、小白菜(non-heading Chinese cabbage *Brassica camperstris,* L. var. *chinensis*.)、莧菜(edible amaranth *amaracthus mamgostanus,* L)及青梗白菜(Chinese mustard *brassica chinensis*, L)產量()，2004 年設施內不施任何肥料與每公頃施市售有機質肥料(N-P_2O_5-K_2O 4-4-4) 1,000 公斤，配合氮素肥料分別施 0、30、60、及 120 公斤四級處理，產量調查結果顯示：小白菜公頃產量為 11,036-16,893

公斤，每公頃施有機質肥料 1 公噸，配合氮素每公頃分別施 120、60、30 及 0 公斤四級，各處理間產量差異不顯著，但是除了有機質肥料配合 60 公斤氮素出理區外，均與完全不施肥處理公頃產量 11,036 公斤呈顯著差異。莧菜公頃產量為 6,821-19,607 公斤，每公頃施有機質肥料 1 公噸，配合氮素每公頃分別施 120、60 公斤處理間莧菜產量分別為 17,107 及 19,607 公斤，但差異不顯著，施有機質肥料 1 公噸，配合氮素每公頃分別施 60、30 及 0 公斤處理間莧菜產量分別為 17,107、15,321 及 14,679 公斤，差異不顯著，但均與完全不施肥處理公頃產量 6821 公斤呈顯著差異。顯示設施內施有機質肥料 1-2 公噸，配合氮素每公頃施 30-60 公斤氮素就已足夠。與作物施肥手冊推薦設施外每公頃需氮素肥料 120 公斤。可降低用量 50-75% 以上。

表 6 設施蔬菜氮素用量對產量影響（2003）

Treatment N Kg ha^{-1}	OF[§] t ha^{-1}	leaf lettuce Yield (kg ha^{-1})	non-heading Chinese cabbage Yield (kg ha^{-1})	edible amaranth Yield (kg ha^{-1})	Chinese mustard Yield (kg ha^{-1})
120	2	18130[a*]	22464[a*]	20286[a*]	18786[a*]
96	2	20336[a]	23857[a]	19750[a]	19250[a]
72	2	19622[a]	22464[a]	19286[a]	20321[a]
48	2	19303[a]	21071[a]	17964[a]	21357[a]

表 7 設施蔬菜氮素用量對產量影響（2004）

Treatment N Kg ha^{-1}	OF[§] t ha^{-1}	non-heading Chinese cabbage Yield (kg ha^{-1})	edible amaranth Yield (kg ha^{-1})
120	1	15607[a*]	19607[a*]
60	1	15536[ab]	17107[ab]
30	1	16893[a]	15321[b]
0	1	16679[a]	14679[b]
0	0	11036[b]	6821[c]

結 論

台灣中部設施內土壤鹽類(養分離子)大部分都累積在表土 0～5 公分土層，其土壤電導度 EC 值大於 1.5 dS m^{-1} 者佔 53%，分析與肥料有關的鹽類如 Ca^{2+}、Mg^{2+}、K^{+}、Na^{+}、Cl^{-}、NO_3^{-}、$H_2PO_4^{-}$及 SO_4^{2-}等離子，中部四大土類均以 SO_4^{2-}及 NO_3^{-}濃度最高，顯示設施內土壤鹽分累積與農民施肥有顯著的相關。設施內栽培作物若施肥不當則在栽培一年以上時，其土壤電導度值就達 0.97 dS m^{-1}（土：水 1：5），直接影響不耐鹽作物發芽及生長。解決設施內土壤鹽分累積的對策中，採用去除鹽分累積土層或浸水 20 天時，分別可以降低土壤電導度 82.2 及 64.9～78.6%，維持作物正常生長。採用設施栽培作物時，每期作每公頃施有機質肥料 1-2 公噸，配合氮素施用量降低為 25-50% 時，就可維持設施蔬菜正常產量，並維護土壤之永續生產力。

參考文獻

王百祿、楊柏椿、張王鑽、姚財寶。1989。海水倒灌蔗田土壤淋洗之研究。

台灣糖業研究所研究彙報，124：13-21。

王明果。1978。嘉南平原鹽分地調查報告。中興大學土壤系專刊。

林滄澤。1991。不同有機物在土壤中養分釋放之研究。國立中興大學土壤研究所 碩士論文。

林學正、侯鳳舞。1987。國內各類設施栽培之現況介紹。設施園藝研討會專集，p.31～42。台灣省農業試驗所、中國園藝學會聯合編印。

陳榮五、王勝。1990。蔬菜設施多角栽培之研究。p.9～11。設施園藝之研究與技術開發計畫執行成果報告。台灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所編印

陳鴻堂。1992。台灣中部設施栽培土壤鹽分累積之特性及改良。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。

張新軒。1979。農業上的鹽分問題。科學農業，24：285～289。

郭孚耀、吳世偉。1998。蔬菜設施栽培連作問題及病蟲害管理。p.172

～191。第二屆設施園藝研討會專集。台灣省農業試驗鳳山熱帶園藝試驗分析編印。

郭鴻裕、向為民。1989。蔬菜問題土壤調查。土壤肥料試驗年度報告。

黃祥慶、蔡宜峰、賴文龍。1989。中部地區主要蔬菜栽培之土壤障害因子調查。台中區農業改良場研究彙報，24：63～70。

廖芳心、張粲如、許苑培。1988。都市都效設施栽培蔬菜之研究。蔬業作物試驗研究彙報第五輯，p.244～254。台中區農業改良場編印。

嚴式清。1991。土壤鹽分之管理。土壤管理手冊 p.227～281。國立中興大學土壤調查試驗中心。

日本土壤肥料學會。1986。土壤標準分析法、測定法。p.74～76、135～147。土壤標準分析、測定委員會編。

三好洋。1978。土壤診斷法。農山漁村文化協會，東京。

土屋一成、小野崎隆。1990。花卉生理障害實態與問題點。農業園藝，65(2)：302～308。

小田雅行、鈴木哲夫、鈴木義彥、志村 清。1985。有機物施用施設野菜の鹽類高濃度障害對策。野菜試驗場報告，A13：31-32。

中島靖之、寶園正敏、川口俊春、許斐健治、松井正德。1984。施設土壤對作物效果。福岡縣農業總合試驗場研究報告。B：71-76。

石川格司、中村毅。1985。土壤集積鹽類除去湛水效果。農業園藝，60(1)：49-52。

白崎隆夫。1990。良品切花生產土壤施肥管理諸多問題。農業園藝，65(4)：525-530；(5)626-630。

西尾道德。1983。連作障害發生。日本土壤肥料學雜誌 54(1)：64-67。

位田藤久太郎。1981。野菜の土壤生態、檢定と肥培。博友社，東京。

相馬曉。1985。野菜連作障害實態與對策。農業園藝，(10)：1287-1290；(11)：1415-1420。

湯村義男。1976。野菜園地土壤現狀與問題點。農業園藝，(8)：875～981。

嶋田永生。1979。土壤特性之改良。農山漁村文化協會，東京。

關東土壤研究。1966。土壤鹽類集積實態。農業園藝，41(10)：1451～

1455。

Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. P.167-179. In：A.L. Page et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part2. 2nd ed. Agronomy Monogaphy. ASA and SSSA. Madison, Wisconsin.

Richard, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline alkali soil. USDA. Handbook. No.60 160 pp.

Sandon, J. R. 1984 Booker tropical soil manual. Longman Inc., New York.

Shannon, M.C. 1984. Breading Selection and the genetics of salt tolerance, p.231-254. In Rivhard C. Staples(ed.), Salinity Tolerance in Plants. John Wiley & Sons., New York.

Van den Ende, J. 1989. Estimating the chemical composition of the soil solution of glasshouse soil. 1. Compositions of the soil solution and aqueous extracts. Neth. J. Agri. Sci. 37：311-322.